

ULYSSES MARTINI

Proposição de um manual de pavimentação para o município de Blumenau

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Departamento de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina para
a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Liseane Padilha
Thives

FLORIANÓPOLIS

2014

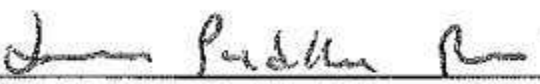
ULYSSES MARTINI

Proposição de um manual de pavimentação para o município de Blumenau

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis, 8 de Julho de 2014.

Banca Examinadora:


Prof.^a Dr.^a Liseane Padilha Thives – Orientadora - UFSC


Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi


Prof.^a PhD. Patrícia de Oliveira Faria

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Mauro e Rosa, pelo carinho, amor, educação e todo o apoio recebido no decorrer de uma vida.

À professora orientadora Liseane Padilha Thives, pela disponibilidade de orientar-me neste trabalho e todo o apoio sem o qual este não seria possível.

Aos meus irmãos, por todo o apoio recebido.

Aos engenheiros Eduardo Jacomel e Carolina Missfeld Roncaglio, pelo apoio na obtenção do material necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Rafael Augusto dos Reis Higashi e Patrícia de Oliveira Faria, por aceitarem fazer parte da banca examinadora.

A todos os professores que de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica.

A todos os meus colegas, pela convivência e amizade no decorrer deste curso.

A todos os meus familiares, pelo apoio e confiança.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

Martini, Ulysses

Proposição de um manual de pavimentação para o município de Blumenau / Ulysses Martini ; orientadora, Liseane Padilha Thives - Florianópolis, SC, 2014.

65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Pavimentação. 3. Pavimentos flexíveis. 4. Manual de pavimentação. 5. Métodos de dimensionamento. I. Padilha Thives, Liseane. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

RESUMO

Atualmente o Brasil é um país com graves deficiências em relação ao seu sistema de transportes, o que prejudica muito a economia e afeta a competitividade. Este cenário reflete-se no município de Blumenau, onde se tem percebido inúmeros casos de reabilitação prematura de pavimentos, o que põe em dúvida os projetos realizados. Este trabalho propôs, por meio de estudo de caso de três ruas pavimentadas no município, avaliar a situação atual das vias pavimentadas que ainda estão na sua vida útil de projeto e a conformidade dos projetos de pavimentação das mesmas para com isso determinar se há conveniência da adoção de um manual de pavimentação pelo município e nesse caso propor um manual a ser adotado. Com o desenvolvimento do trabalho pode-se perceber que no caso das ruas em que o projeto de pavimentação estava em conformidade com o método do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) não havia defeitos na superfície do pavimento e no caso da rua que estava em desconformidade com o dimensionamento pelo método do DNIT havia vários defeitos, sendo estes de tipos variados. Com isso concluiu-se que há a conveniência da adoção de um manual de pavimentação por parte do município de Blumenau, sendo indicada a adoção do método do DNIT. Outra constatação feita no decorrer da análise dos projetos de pavimentação é que não basta simplesmente adotar o método do DNIT em Blumenau, sendo necessária a qualificação dos profissionais que farão uso do método. Isso foi percebido devido aos erros e inconsistências presentes nos projetos de pavimentação desenvolvidos em Blumenau, que evidenciaram a necessidade de qualificar os profissionais responsáveis pelos mesmos. Também foi percebida no município de Blumenau uma tendência de terceirização dos projetos de pavimentação por parte da prefeitura, sendo que neste caso também é indicada a adoção de um manual de pavimentação e a qualificação dos profissionais com objetivo de fiscalizar e controlar os projetos recebidos.

Palavras-chave: Pavimentos flexíveis, métodos de dimensionamento, pavimentação asfáltica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Método do trabalho	4
Figura 2 – Ábaco para determinação das somas das espessuras equivalentes H.....	9
Figura 3 - Esquema das camadas do pavimento a ser dimensionado.	11
Figura 4– Ábaco Espessura do Pavimento X CBR do Subleito	12
Figura 5– Exemplo de trinca isolada transversal.	16
Figura 6– Defeito tipo Trinca Couro de Jacaré.....	17
Figura 7– Trinca tipo “Bloco”.	17
Figura 8– Afundamento tipo trilha de roda.....	18
Figura 9– Ondulação em pavimento.	19
Figura 10– Escorregamento.	19
Figura 11– Exsudação	20
Figura 12– Desgaste.....	21
Figura 13– Panela ou Buraco.	21
Figura 14– Localização da Rua Jacob Ineichen.....	24
Figura 15– Localização da Rua Arnoldo Beck.	26
Figura 16– Localização da Rua Guilherme Scharf.	29
Figura 17– Foto da Rua Jacob Ineichen.....	32
Figura 18– Foto da Rua Jacob Ineichen.....	32
Figura 19– Foto da Rua Jacob Ineichen.....	33
Figura 20– Foto da Rua Jacob Ineichen.....	33
Figura 21 – Foto da Rua Jacob Ineichen.....	34
Figura 22– Foto da Rua Arnoldo Beck.	36
Figura 23– Foto da Rua Arnoldo Beck.	36
Figura 24– Foto da Rua Arnoldo Beck.	37
Figura 25– Foto da Rua Arnoldo Beck.	37
Figura 26– Foto da Rua Guilherme Scharf.	39
Figura 27– Foto da Rua Guilherme Scharf.	40
Figura 28– Foto da Rua Guilherme Scharf.	40
Figura 29– Foto da Rua Guilherme Scharf.	41
Figura 30– Foto da Rua Guilherme Scharf.	41
Figura 31– Foto da Rua Guilherme Scharf.	42
Figura 32– Foto da Rua Guilherme Scharf.	42
Figura 33– Foto da Rua Guilherme Scharf.	43
Figura 34 - Fluxograma de dimensionamento de pavimentos flexíveis para Blumenau	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Número de operações de eixo padrão para determinação da espessura mínima de revestimento betuminoso	8
Quadro 2- Coeficientes de equivalência estrutural	10
Quadro 3 - Espessura do revestimento para tráfego leve x material do revestimento.	12
Quadro 4- Espessura do revestimento para tráfego médio x material do revestimento.	13
Quadro 5 – Coeficientes estruturais da PMSP.....	14
Quadro 6– Resumo do projeto – Jacob Ineichen.	25
Quadro 7– Resumo do projeto – Arnoldo Beck.....	28
Quadro 8– Resumo do projeto – Guilherme Scharf.....	30
Quadro 9- Análise Granulométrica.....	53
Quadro 10 - Ensaios de Compactação	54
Quadro 11 - Limites de Liquidez e Plasticidade.....	55
Quadro 12 - Dimensionamento das camadas do pavimento.....	56
Quadro 13 - Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 1	58
Quadro 14 - Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 2	59
Quadro 15 - Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 3	60
Quadro 16 - Ensaios de Compactação – Furo 1.....	61
Quadro 17 - Ensaios de Compactação – Furo 2.....	62
Quadro 18 - Ensaios de Compactação – Furo 3.....	63
Quadro 19 - Dimensionamento das camadas do pavimento	64
Quadro 20 - Sequência de dimensionamento.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PMBLU	Prefeitura Municipal de Blumenau
USACE	United States Army Corps of Engineers
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
CAUQ	Concreto asfáltico usinado a quente
CBR	Índice de Suporte Califórnia
N	Número de operações de eixo padrão

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
1.3. MÉTODO.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	7
2.1.1. Método do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).....	8
2.1.2. Método da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP)	11
2.2. TERMINOLOGIA DOS DEFEITOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1. INTRODUÇÃO	23
3.2. AVALIAÇÃO DAS RUAS	23
3.2.1. Rua Jacob Ineichen	23
3.2.2. Rua Arnoldo Beck.....	25
3.2.3. Rua Guilherme Scharf.....	28
4. RESULTADOS	31
4.1. RUA JACOB INEICHEN.....	31
4.1.1. Situação atual	31
4.1.2. Redimensionamento pelo método do DNIT	34
4.2. RUA ARNOLDO BECK	35
4.2.1. Situação atual	35
4.2.2. Redimensionamento pelo método do DNIT	38
4.3. RUA GUILHERME SCHARF	39
4.3.1. Situação atual	39
4.3.2. Redimensionamento pelo método do DNIT	43
4.4. PROPOSIÇÃO DE UM MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE BLUMENAU	44
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47

5.1.	CONCLUSÃO	47
5.2.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXO	51

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com deficiências em relação ao seu sistema de transportes, principalmente no que diz respeito às suas rodovias, insuficientes em relação à sua extensão e manutenção, mesmo sendo este o modo de transporte mais utilizado no país. A baixa qualidade das estradas pavimentadas eleva o custo Brasil de forma significativa e compromete o desenvolvimento nacional. Estas deficiências são apontadas pela pesquisa realizada pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2013), a qual revela que o Brasil possui 1.713.885 km de rodovias, sendo que apenas 202.589 km são pavimentados, representando 11,8 % da malha total.

Esta pesquisa diagnosticou ainda que 36,2% dos trechos pesquisados (35.002 km) apresentam condições satisfatórias, sendo ótimos ou bons, com 10,2% da extensão considerada ótima e 26,0% bons. No entanto, 34,4% da extensão é considerada regular, 24,4% ruim e 8% péssima (CNT, 2013). Estes valores mostram a necessidade de elevados investimentos no tocante à ampliação da malha viária nacional, assim como na pavimentação e recuperação da malha existente, tornando esse tema de grande importância para o desenvolvimento nacional.

Em parte, a baixa qualidade dos pavimentos no Brasil é devida à falta de um projeto executivo de pavimentação e controle adequado da execução em campo. Por outro lado, no tocante às estradas com elevado volume de tráfego pesado, os métodos de dimensionamento não contemplam as cargas impostas, uma vez que os métodos utilizam parâmetros empíricos.

A grande maioria dos municípios brasileiros não possui um órgão que gerencia os projetos e a execução da pavimentação de suas ruas. Em relação aos projetos de pavimentação, muitas vezes não se utiliza algum método de dimensionamento estabelecido em norma. Muitas prefeituras têm optado por terceirizar os projetos.

No Brasil, em nível federal, os métodos de dimensionamento de pavimentos são normatizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Algumas prefeituras também apresentam normas a exemplo da Prefeitura municipal de São Paulo (PMSP). Em ambos os casos, as metodologias de dimensionamento são empíricas de fácil utilização.

Este trabalho tem como foco o município de Blumenau, em cujas vias vêm passando por constantes trabalhos de reabilitação prematura de pavimentos, uma vez que os revestimentos tem sofrido degradação muito antes do fim da sua vida útil de projeto. Isto leva a um gasto excessivo de manutenção e bota em dúvida a eficácia dos projetos de pavimentos implantados na cidade.

Essas falhas de projeto devem-se muito ao fato de não existir um manual próprio para projetos de pavimentação no município de Blumenau, levando à necessidade de adoção de metodologias que em muitas vezes não se adequam às características do município, resultando em um baixo desempenho dos pavimentos da cidade. Para avaliar os projetos e os resultados foram realizados estudos de caso.

Neste trabalho, projetos de pavimentação de vias de Blumenau foram confrontados com a sua situação atual, avaliada por meio de análise no local, buscando avaliar a adequação dos mesmos e fornecendo parâmetros para a determinação de uma metodologia que se adapte da melhor forma possível às características do município. Em alguns casos, os projetos de pavimentação têm sido terceirizados para empresas construtoras, deixando de ser executados pelo município.

A partir do desenvolvimento de um manual de pavimentação próprio para o município de Blumenau poderiam deixar de ser gastos na reabilitação de pavimentos recursos importantes para o desenvolvimento da cidade, que poderiam ser aplicados, inclusive, na pavimentação de novas ruas, levando a um melhor aproveitamento do dinheiro público do município. O manual servirá também como uma forma de controle dos projetos terceirizados, possibilitando à administração municipal a avaliação da conformidade dos projetos.

1.1. OBJETIVOS

Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de dimensionamento de pavimentos flexíveis para a prefeitura municipal de Blumenau, com base nas metodologias existentes, como as adotadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e pela prefeitura do município de São Paulo (PMSP).

Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar os métodos de dimensionamento do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e da prefeitura do município de São Paulo (PMSP).
- Redimensionar os projetos de ruas pavimentadas no município de Blumenau.
- Avaliar a adequação dos pavimentos analisados à vida útil de projeto adotada.
- Definir as metodologias que têm melhores resultados em Blumenau.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será estruturado em cinco capítulos, como segue:

Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo é feita a apresentação geral do que será visto no trabalho, além de serem apresentados os objetivos que nortearam o mesmo e a sua organização.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura que serviu de apoio ao desenvolvimento do trabalho, sendo apresentados os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP).

Capítulo 3 – Materiais e métodos

No terceiro capítulo são expostos os materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho e a forma como estes foram trabalhados para a obtenção dos resultados.

Capítulo 4 – Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pelo redimensionamento dos projetos de pavimentação tomados como base para o trabalho, sendo os mesmos interpretados e discutidos para a obtenção das conclusões do mesmo.

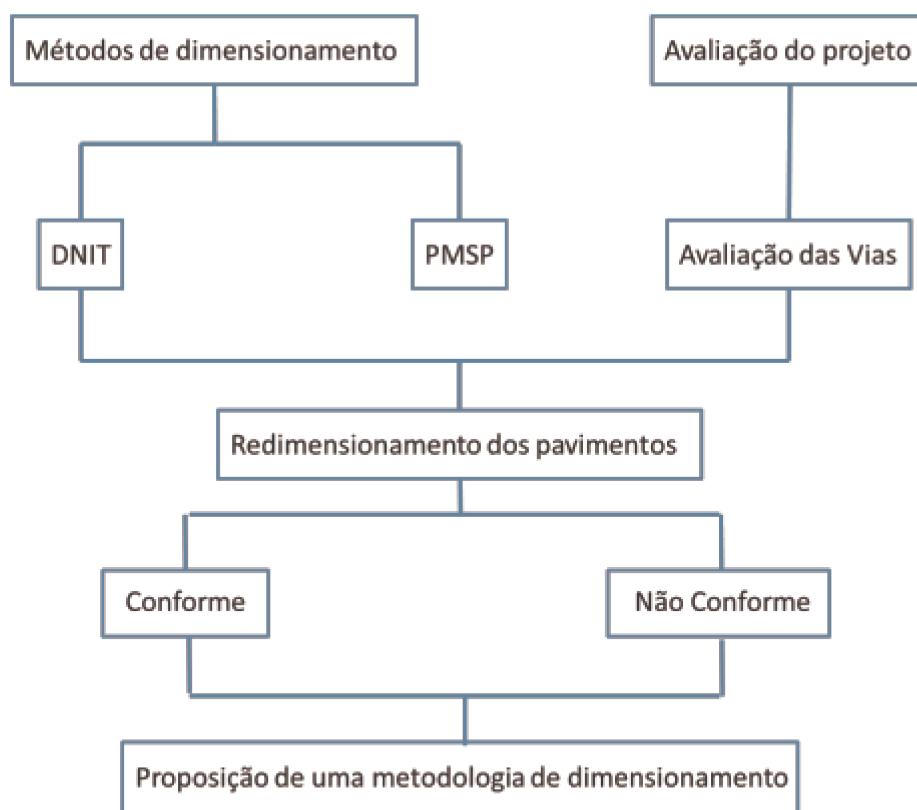
Capítulo 5 – Conclusão e recomendação para trabalhos futuros

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, além de serem feitas as recomendações para trabalhos futuros que venham a complementar e dar sequência ao mesmo.

1.3. MÉTODO

O método do trabalho está ilustrado na Figura 1 e explicitado a seguir.

Figura 1 - Método do trabalho



Fonte: O Autor - 2014

O método consta das seguintes etapas:

Estudar os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis:

Serão estudados os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT, da prefeitura municipal de São Paulo.

Análise do projeto de pavimentação das ruas executadas:

Os projetos de pavimentação de ruas executados em Blumenau serão analisados, sendo avaliada a sua adequação às ruas que foram pavimentadas.

Avaliação da situação das ruas atualmente:

Posteriormente à análise dos projetos de pavimentação executadas no município de Blumenau, será feita uma inspeção local da situação atual dos pavimentos executados, possibilitando a determinação da adequação ou não dos projetos de pavimentação. De forma a viabilizar o desenvolvimento do trabalho, não serão consideradas possíveis falhas de execução dos projetos propostos, sendo considerada a execução dos pavimentos em conformidade aos projetos disponibilizados.

Redimensionamento do projeto de pavimentação de ruas executadas pelos métodos propostos:

Os projetos analisados serão redimensionados seguindo uma metodologia consagrada de projeto de pavimentos flexíveis, sendo usada a metodologia do DNIT. Isto porque esta é uma metodologia que se aplica a vias de baixo e médio volume de tráfego, como é o caso das vias em questão.

Proposição de uma metodologia de calculo adequada ao município de Blumenau:

A determinação de um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis para o município de Blumenau será feita com base nos resultados obtidos pelos redimensionamentos feitos para os projetos de pavimentação e a análise do projeto executado, levando-se em consideração a situação atual dos pavimentos executados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir é apresentada a metodologia de dimensionamento de pavimentos flexíveis mais utilizadas no país, prescrita pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Da mesma forma, a metodologia de dimensionamento da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP), derivada e similar à do DNIT é descrita.

2.1. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os pavimentos flexíveis podem ser dimensionados por meio de métodos empíricos ou empírico-mecanicistas, sendo que atualmente no Brasil os métodos empíricos são os mais utilizados. Dentre as vantagens dos métodos empíricos pode-se citar a sua simplicidade e fácil aplicação, possibilitando o dimensionamento do pavimento por meio de um pequeno número de variáveis de fácil obtenção, diferentemente dos métodos empírico-mecanicistas que necessitam de um maior número de variáveis referentes ao pavimento, sendo essas mais difíceis de serem obtidas.

A abordagem empírica se restringe às condições em que foram desenvolvidos, fatores ambientais, tráfego dos veículos e propriedades dos materiais constituintes do pavimento, podendo o projeto não atingir sua eficiência máxima quando executado em diferentes condições ambientais e econômicas (GONÇALVES, 1999). Nessa abordagem o dimensionamento é feito por meio do número de operações de eixo padrão, que no Brasil é de 8,2 tf, sendo que para pesos muito distintos do valor do eixo padrão essa abordagem passa a ser muito imprecisa, além de haver grandes distorções entre os métodos de obtenção do fator de equivalência, como ocorre com os métodos do United States Army Corps of Engineers (USACE) e da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

No caso do dimensionamento por meio de métodos empírico-mecanicistas o pavimento é projetado com o uso da mecânica dos pavimentos sendo dimensionado por meio de análise de tensões, deformações e deslocamentos, sendo considerado um sistema de várias camadas. Esses métodos tem se desenvolvido com a aplicação de softwares que possibilitam o dimensionamento

dos pavimentos por meio de dados de entrada como o coeficiente de Poisson, o módulo de elasticidade e a espessura das camadas, além de possibilitar o uso de carregamentos complexos.

2.1.1. Método do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

O Método do DNIT é um método empírico que foi proposto pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza que é adaptado do Método de dimensionamento de aeroportos do United States Army Corps of Engineers (USACE) e possui como variáveis de projeto o Índice de Suporte Califórnia (CBR) do solo do subleito e das camadas que constituem o pavimento, o número de operações de eixo padrão (N) e os coeficientes de equivalência estrutural (K).

O método se baseia na determinação do número de operação de eixos padrão (N) de 8,2 tf, obtido a partir de estudos de tráfego e se utiliza de um ábaco para definir o fator de equivalência em função do tipo de eixo utilizado e da carga por eixo. Após o cálculo do número de operações de eixo padrão (N) é definida a espessura do revestimento de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Número de operações de eixo padrão para determinação da espessura mínima de revestimento betuminoso

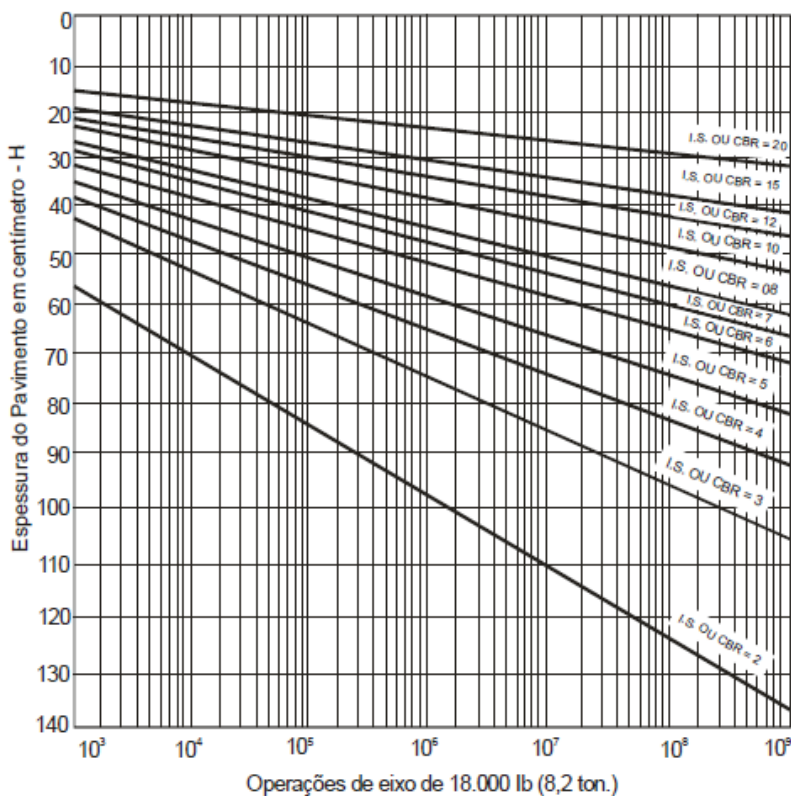
N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Brasil (2006b).

Com o número de operações de eixo padrão (N) e o CBR das camadas de base, sub-base (limitado pelo método ao valor de 20%) e de reforço do subleito, determina-se a espessura do pavimento para proteger estas camadas (Figura 2).

Desta forma, determina-se a espessura relativa à soma das espessuras equivalentes das camadas de revestimento e base (H_{20}) e posteriormente a soma das espessuras equivalentes de revestimento, base e sub-base (H_n) e a soma das espessuras equivalentes do revestimento, da base, da sub-base e do reforço de subleito (H_m) a partir do ábaco da Figura 2.

Figura 2 – Ábaco para determinação das somas das espessuras equivalentes H.



Fonte: Brasil (2006b).

De acordo com o tipo de material de cada camada a metodologia infere valores dos coeficientes de equivalência estrutural (K), de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2– Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: Brasil (2006b).

Com os coeficientes de equivalência estrutural das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço de subleito (obtidos no Quadro 2) e as espessura de proteção das camadas a partir da Figura 2, calcula-se as espessuras mínimas para as camadas do pavimento conforme as seguintes inequações: (Brasil, 2006)

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (2)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{ref} \geq H_m \quad (3)$$

Sendo:

R: Espessura da camada de revestimento.

K_R: coeficientes de equivalência estrutural do revestimento.

B: Espessura da camada de base.

K_B: coeficientes de equivalência estrutural da base.

H₂₀: espessura obtida no ábaco, relativa a um valor de CBR de 20%.

h_{20} : espessura da camada de sub-base.

K_S : coeficientes de equivalência estrutural da camada de sub-base.

H_n : espessura obtida no ábaco, relativa a um valor de CBR do reforço de subleito.

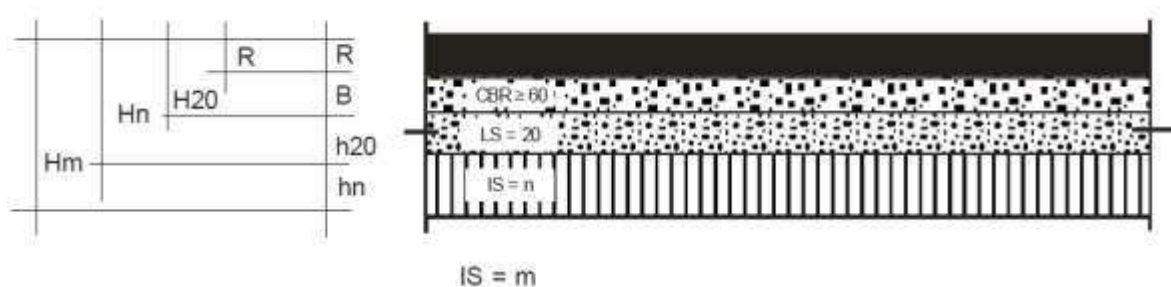
h_n : espessura da camada de reforço de subleito.

K_{ref} : coeficientes de equivalência estrutural do reforço de subleito.

H_m : espessura obtida no ábaco, relativa a um valor de CBR do subleito.

Tem-se como restrição do método a necessidade do uso de um material para a camada de base com CBR maior ou igual a 60%. A Figura 3 apresenta o esquema das camadas do pavimento.

Figura 3 - Esquema das camadas do pavimento a ser dimensionado.



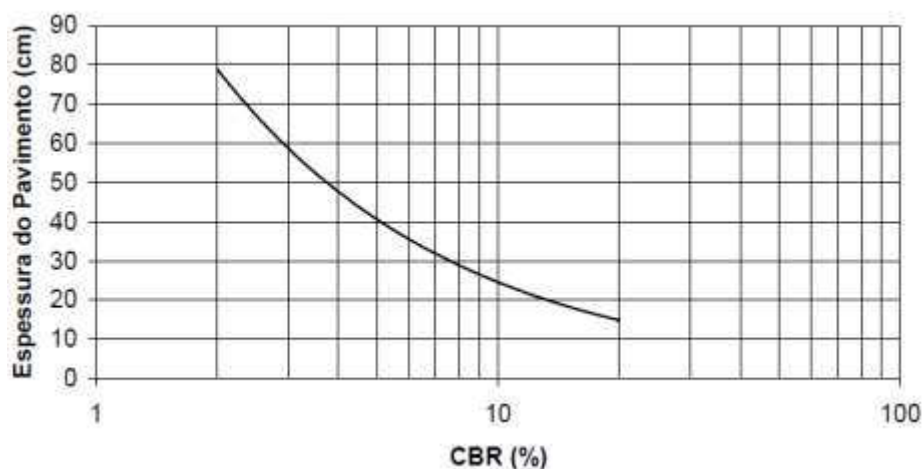
Fonte: Brasil (2006b).

2.1.2. Método da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP)

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis da prefeitura de São Paulo é um método empírico similar ao adotado pelo DNIT, sendo o dimensionamento feito em função da classificação de tráfego, entre leve, médio e pesado, sendo as mesmas atribuídas em função do número de operações de eixo padrão (N). Com isso, determina-se a espessura equivalente total

do pavimento (H_{SL}) e as outras espessuras parciais por meio da Figura 4, que apresenta a espessura do pavimento em função do CBR do subleito, para tráfego leve e médio:

Figura 4– Ábaco Espessura do Pavimento X CBR do Subleito



Fonte: Manual de Pavimentação da Prefeitura de São Paulo – 2004

Após a determinação da espessura equivalente total do pavimento (H_{SL}) obtém-se a espessura do revestimento (R), tabelada em função da classificação do tráfego, como apresentado nos Quadros 3 e 4, para tráfego leve e médio, respectivamente:

Quadro 3 - Espessura do revestimento para tráfego leve x material do revestimento.

CAUQ	3,5 cm
IMP LIGANTE	
MB	5,0 cm
IMP IMPERM	
MH	10,0 cm
subleito compactado a 100% da energia normal CBR \geq 11%	15,0 cm

Fonte: Manual de Pavimentação da Prefeitura de São Paulo – 2004

Quadro 4– Espessura do revestimento para tráfego médio x material do revestimento.

CAUQ	5,0 cm
IMP LIGANTE	
PMQ/BINDER	4,0 cm
IMP IMPERM	
MH/BGS	10,0 cm
subleito compactado a 100% da energia normal CBR \geq 19%	15,0 cm

Fonte: Manual de Pavimentação da Prefeitura de São Paulo – 2004

Onde:

CAUQ : Concreto Asfáltico usinado a quente.

IMP LIGANTE : Imprimação ligante.

MB: Macadame Betuminoso.

IMP IMPERM: Imprimação Impermeabilizante.

MH: Macadame Hidráulico.

PMQ: Pré-misturado a quente

BGS: Brita Graduada Simples

Segue-se à determinação das espessuras das outras camadas do pavimento por meio das seguintes inequações:

$$R * K_R + B * K_B \geq H_{SB} \quad (4)$$

$$R * K_R + B * K_B + h_{SB}K_{SB} \geq H_{REF} \quad (5)$$

$$R * K_R + B * K_B + h_{SB}K_{SB} + h_{REF}K_{REF} \geq H_{SL} \quad (6)$$

Sendo:

B: espessura da base.

h_{SB} : espessura da sub-base.

h_{ref} : espessura do reforço de subleito.

K_R : coeficiente estrutural do revestimento.

K_B : coeficiente estrutural da base.

K_{SB} : coeficiente estrutural da sub-base.

K_{REF} : coeficiente estrutural do reforço de subleito

Os valores dos coeficientes estruturais (K) são obtidos de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5 – Coeficientes estruturais da PMSP

CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)
Base ou Revestimento de Concreto Asfáltico	2,00
Base ou Revestimento de Concreto Magro/Compactado com Rolo	2,00
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Quente, de Graduação Densa / Binder	1,80
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Frio, de Graduação Densa	1,40
Base ou Revestimento Asfáltico por Penetração	1,20
Paralelepípedos	1,00
Base de Brita Graduada Simples, Macadame Hidráulico e Estabilizadas Granulometricamente	1,00
Sub-bases Granulares ou Estabilizadas com Aditivos	$\leq 1,00$
Reforço do Subleito	$\leq 1,00$
Base de Solo-Cimento ou BGTC, com resistência à compressão aos 7 dias, superior a 4,5 MPa	1,70
Base de BGTC, com resistência à compressão aos 7 dias, entre 2,8 e 4,5 MPa	1,40
Base de Solo-Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,8 e maior ou igual a 2,1 MPa	1,20
Base de Solo melhorado com Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,1 MPa	1,00

Fonte: Manual de Pavimentação da Prefeitura de São Paulo – 2004

Para determinar os coeficientes estruturais da sub-base granular, do agregado reciclado e do reforço de subleito são utilizadas as equações 1 e 2 a seguir, sendo que o CBR do reforço e da sub-base não pode ser adotado como sendo maior que 30%.

$$K_{SB} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 * CBR_{SL}}} \leq 1 \quad (1)$$

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3 * CBR_{SL}}} \leq 1 \quad (2)$$

Sendo:

CBR_{SB} , CBR_{REF} e CBR_{SL} são os índices de suporte Califórnia da sub-base, reforço e subleito.

O dimensionamento das camadas deve atender a algumas restrições do manual, que exige valores mínimos de CBR e máximos de expansibilidade para as camadas do pavimento, além de valores mínimos de espessura a serem adotados nas camadas do pavimento.

2.2. TERMINOLOGIA DOS DEFEITOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A terminologia adotada para a classificação dos defeitos dos pavimentos é prescrita de acordo com a norma do DNIT 005/2003: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia.

De acordo com o DNIT os defeitos são assim designados:

Fenda: Qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte.

Fissura: Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m, sendo fendas incipientes que ainda não causam problemas funcionais ao revestimento, não sendo assim consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície.

Trinca: Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada. Um exemplo de trinca isolada está presente na Figura 5.

Figura 5– Exemplo de trinca isolada transversal.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Trinca tipo “Couro de Jacaré”: Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas. Este defeito está ilustrado na Figura 6.

Figura 6– Defeito tipo Trinca Couro de Jacaré.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Trinca tipo “Bloco”: Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas. Este defeito está ilustrado na Figura 7.

Figura 7– Trinca tipo “Bloco”.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Afundamento: Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de levantamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação. Este defeito está ilustrado na Figura 8.

Figura 8– Afundamento tipo trilha de roda.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Ondulação ou corrugação: Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento. Este defeito está ilustrado na Figura 9.

Figura 9– Ondulação em pavimento.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Escorregamento: Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua. Este defeito pode ser visto na Figura 10.

Figura 10– Escorregamento.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Exsudação: Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento. Um exemplo de exsudação está ilustrado na Figura 11.

Figura 11– Exsudação



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Desgaste: Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego. Um exemplo de desgaste está ilustrado na Figura 12.

Figura 12– Desgaste.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Panela ou buraco: Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas. Um exemplo de panela está ilustrado na Figura 13.

Figura 13– Panela ou Buraco.



Fonte: Brasil 005/2003 Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos terminologia – 2003

Remendo: Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento deste trabalho, o método do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) apresentado na revisão bibliográfica foi utilizado para avaliar os projetos de pavimentação das ruas pavimentadas no município de Blumenau e também servirá de base para elaboração de um manual de pavimentação para o município.

Para aferição dos projetos e obras de pavimentação, foram avaliadas três ruas que tiveram suas situações atuais em campo confrontadas com as suas vidas úteis de projeto. Como as obras já foram executadas, não foi possível avaliar a qualidade da execução dos pavimentos.

O método do DNIT foi utilizado devido à sua facilidade de aplicação e ao seu reconhecido bom desempenho para a aplicação em vias de baixo e médio volume de tráfego, sendo um método apropriado para a aplicação em prefeituras.

As ruas avaliadas foram: Rua Guilherme Scharf, com extensão de 2.583,50 m, Rua Jacob Ineichen, com extensão de 1.820,00 m, e Rua Arnaldo Beck, com extensão de 1.060,00 m. Nos casos das três ruas analisadas o dimensionamento dos pavimentos foi realizado por meio do método do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

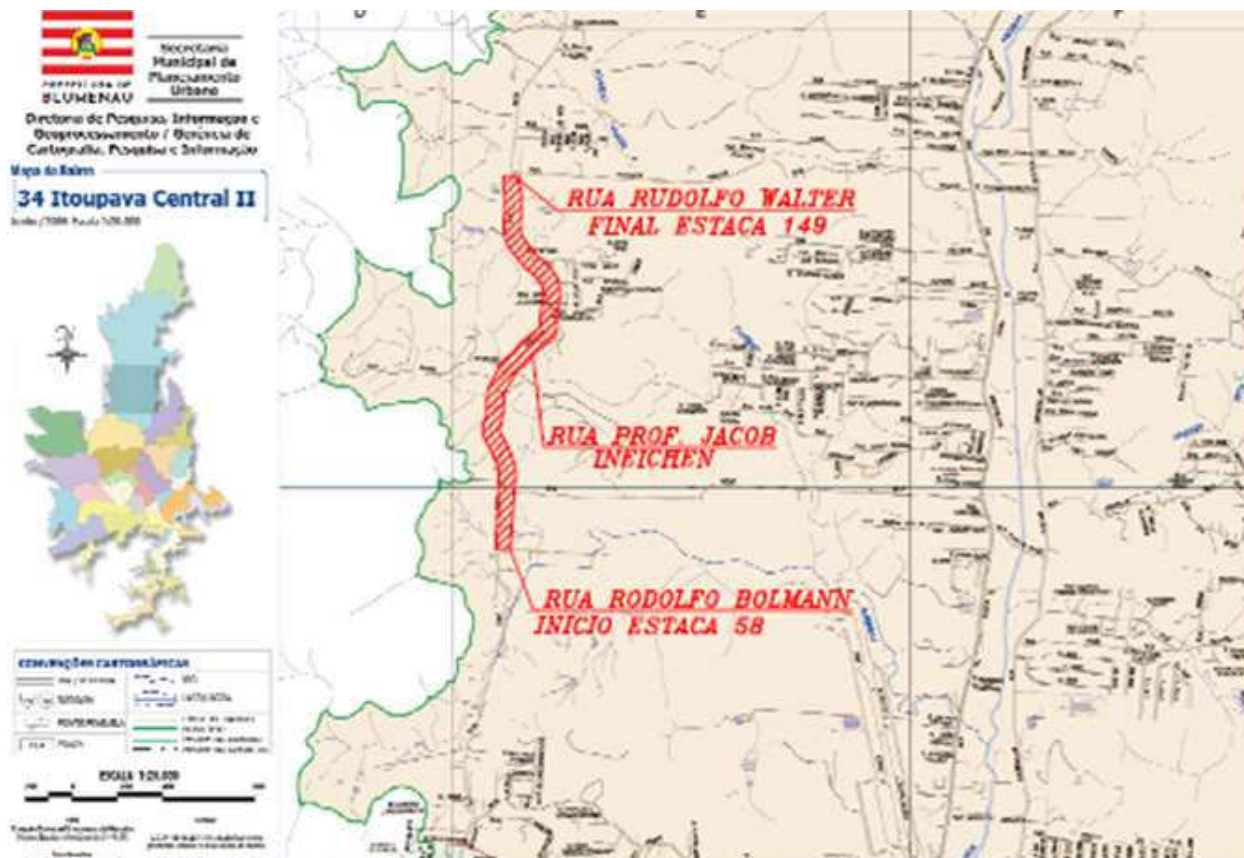
3.2. AVALIAÇÃO DAS RUAS

3.2.1. Rua Jacob Ineichen

- Localização e características

O trecho analisado da Rua Jacob Ineichen localiza-se no bairro Itoupava Central, entre as ruas Rodolfo Bollmann e Rudolfo Walter, com extensão de 1.820,00 m, sendo que esta era uma rua ainda não pavimentada. O trecho foi entregue ao tráfego em novembro de 2013. A localização do mesmo está representada na Figura 14.

Figura 14– Localização da Rua Jacob Ineichen.



Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2011

- Estudo geotécnico

O estudo geotécnico foi desenvolvido de acordo com ensaios preconizados pelo DNIT, sendo realizado através de sondagens. Estas sondagens, realizadas junto ao eixo ou bordos da pista, apresentaram profundidade média de 1,00 m. Após a coleta do material, o mesmo foi enviado para o laboratório para que fossem realizados os ensaios necessários ao dimensionamento do pavimento. Os resultados obtidos pelos ensaios estão representados nos Quadros 9, 10, 11 e 12 presente nos anexos. (PMBLU, 2011)

A partir destes ensaios obteve-se a classificação expedita do solo como sendo uma Argila siltosa com pedregulho amarelado, sendo o CBR do subleito de 6%.

- Projeto de pavimentação

O projeto de pavimentação da Rua Jacob Ineichen foi realizado pela Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU) com o uso do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2011).

De acordo com o estudo geotécnico realizado a via era constituída por uma camada entre 20 e 30 cm de macadame. A sondagem realizada apresentou furos com profundidade de 1,30 m, sendo que o valor médio ensaiado para o CBR do subleito de 6%. (PMBLU, 2011).

Os resultados encontrados pela Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU) para o dimensionamento do pavimento pelo método do DNIT estão presentes nos anexos. O resumo dos resultados dos estudos geotécnicos e do projeto de pavimentação estão presentes no Quadro 6.

Quadro 6– Resumo do projeto – Jacob Ineichen.

CBR subleito	6,0%	
método de dimensionamento	DNIT	
N (8,2 tf)	$4,24 * 10^6$	
Vida útil de projeto	10 anos	
Espessura Revestimento	5 cm	CAUQ
Espessura Base	15 cm	Brita Graduada
Espessura Sub-base	20 cm	Rachão
Espessura reforço	15 cm	Macadame

Fonte: O autor - 2014

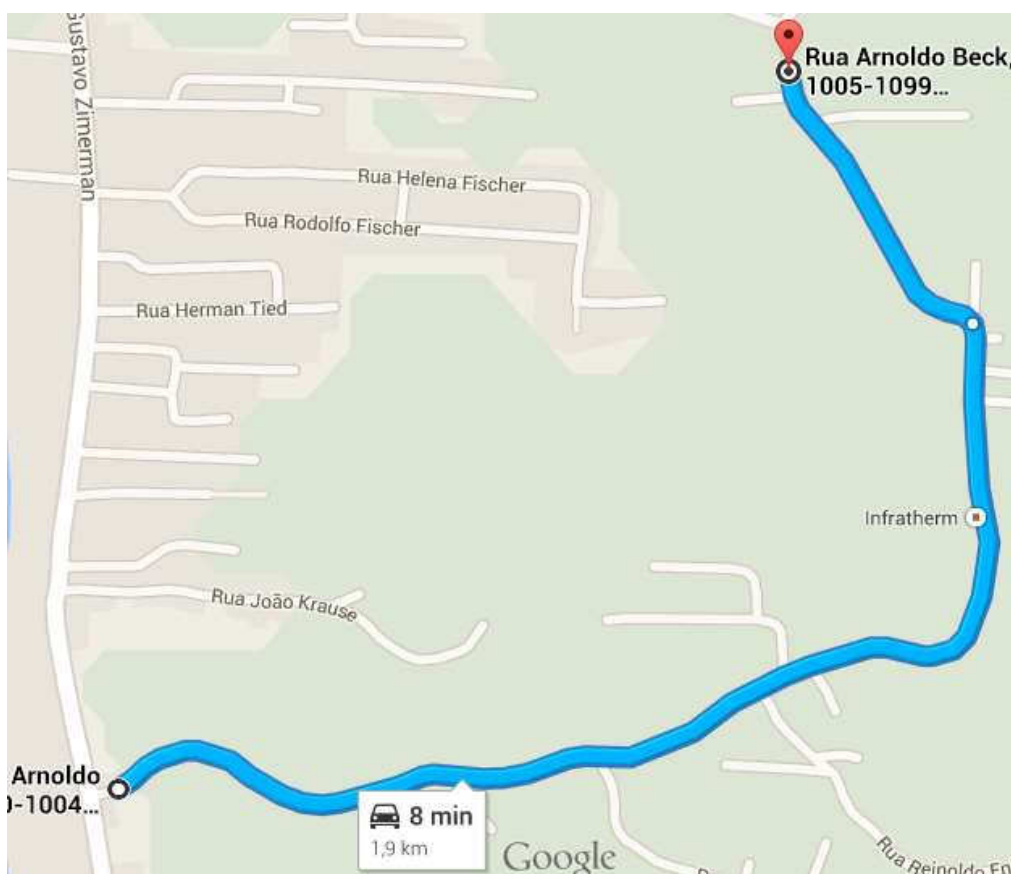
3.2.2. Rua Arnaldo Beck

- Localização e características

A Rua Arnaldo Beck localiza-se no bairro Itoupava Central em Blumenau, possuindo largura da seção transversal anterior à pavimentação de aproximadamente 8,40 m, sendo 6,00 m

de pista de rolamento e 1,20 m de passeio em ambos os lados da mesma. Da extensão total de 1945,04 m, 1060,00 m faz parte do projeto, sendo que este prevê a ampliação da largura da seção transversal da rua para 10,00 m, sendo 7,00 m de pista de rolamento e 1,50 m de passeio em ambos os lados da via, sendo que esta era uma via não pavimentada. O pavimento foi entregue ao tráfego em Outubro de 2013. A localização da Rua Arnoldo Beck pode ser vista na Figura 15.

Figura 15– Localização da Rua Arnoldo Beck.



Fonte: Google Maps - 2014

- Estudo geotécnico

O estudo geotécnico para elaboração do projeto foi desenvolvido de acordo com as normas do DNIT. Foi feito o estudo do subleito compreendendo a sondagem, sendo no eixo ou bordo esquerdo ou direito, chegando-se a uma profundidade variável em torno de 1,00 m. Após a coleta de material foi feito o ensaio do CBR. Com base no estudo geotécnico chegou-se à conclusão de que o ideal seria a pavimentação asfáltica, devido ao fato de ser uma rua com

transito de ônibus. Para o dimensionamento das camadas foram levados em consideração os resultados obtidos no estudo geotécnico, sendo utilizado o método do DNIT. (PMBLU, 2011)

No estudo geotécnico desta rua chegou-se ao dado de que ela apresenta em torno de 20 a 25 cm de macadame, aonde, após a sondagem, que chegou até um metro de profundidade, coletou-se amostras do subleito que foram ensaiadas, chegando ao valor do CBR do subleito de 4,5% e o CBR da sub-base de 12,5%. (PMBLU, 2011)

- Projeto de pavimentação

O projeto de pavimentação foi desenvolvido de acordo com os resultados do estudo geotécnico que apontaram os dados do subleito da rua, que foram utilizados para o dimensionamento das camadas através do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Sendo que a devida rua já estava implantada e já possuía estabilização do subleito com material de jazida, apresentando uma boa capacidade de suporte, apenas os bordos tiveram de receber complemento para atingir o gabarito a ser adotado e dar suporte à pista.

Após calculo por meio do método do DNIT, concluiu-se que eram necessárias camadas compostas de 25 cm de espessura de macadame de jazida com CBR maior que 20% para conformação do greide, sub-base com 25 cm de rachão, base com brita graduada com espessura de 15 cm e revestimento asfáltico de Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) com espessura de 5 cm faixa “C” do DNIT. O projeto de pavimentação pressupõe que esteja em funcionamento a drenagem superficial adequada. (PMBLU, 2011)

O resumo dos resultados dos estudos geotécnicos e do projeto de pavimentação estão presentes no Quadro 7 a seguir:

Quadro 7– Resumo do projeto – Arnaldo Beck

CBR sub-base	12,5 %	
CBR subleito	4,5 %	
método de dimensionamento	DNIT	
N	$4,24 * 10^6$	
Vida útil de projeto	10 anos	
Espessura Revestimento	5 cm	CAUQ
Espessura Base	15 cm	Brita Graduada
Espessura Sub-base	25 cm	Rachão
Espessura reforço	25 cm	Macadame de Jazida

Fonte: O autor - 2014

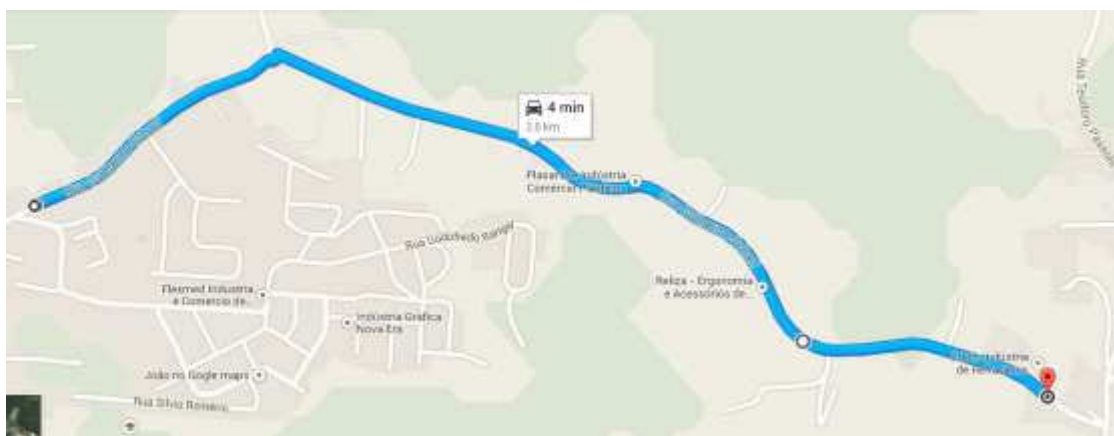
Convém salientar que no projeto de pavimentação o CBR do subleito foi adotado como sendo de 12,5%, sendo que se trata de sub-base constituída de rachão, com CBR bastante superior a este valor, sendo este um equívoco do projeto que compromete o dimensionamento do pavimento.

3.2.3. Rua Guilherme Scharf

- Localização e características

A Rua Guilherme Scharf localiza-se no bairro Fidélis em Blumenau, com extensão de 2.583,50 metros. Esta rua possui largura total da seção transversal de 11,50 metros, sendo 7,00 metros de pista de rolamento e 1,50 metros de passeio no lado esquerdo e 3,0 metros no lado direito. O projeto de pavimentação da rua prevê a pavimentação da rua, com o alargamento de alguns trechos da mesma para adequação ao gabarito de projeto. A localização da Rua Guilherme Scharf está ilustrada na Figura 16.

Figura 16– Localização da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: Google Maps - 2014

- Estudo geotécnico

O estudo geotécnico do projeto foi desenvolvido de acordo com as normas do DNIT. Foi realizado o estudo do subleito compreendendo a sondagem, sendo no eixo ou bordo esquerdo ou direito, chegando-se a uma profundidade variável em torno de 1,0 metro. Após a coleta de material foi feito o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Os resultados obtidos foram de 5,0% para o CBR do subleito e 12,8 % para o CBR da Sub-base. Os ensaios geotécnicos realizados estão presentes nos anexos. (PMBLU, 2006)

- Projeto de pavimentação

O projeto de pavimentação foi desenvolvido de acordo com os resultados do estudo geotécnico que apontaram os dados do subleito da rua, que foram utilizados para dimensionamento das camadas através do método do DNIT. O dimensionamento foi feito a partir de dados oriundos do local, onde se constatou que o melhor modo para execução se dá com sub-base de macadame com $\text{CBR} \geq 20\%$ e base de brita graduada.

O projeto desenvolvido prevê a execução de camada de revestimento com espessura de 5 cm de concreto Asfáltico usinado a quente (CAUQ) faixa “C” do DNER, Base de 15 cm de brita graduada e uma camada de sub-base e reforço de subleito de rachão com 25 cm de espessura. O resumo do projeto de pavimentação está apresentado no Quadro 8, a seguir:

Quadro 8– Resumo do projeto – Guilherme Scharf

CBR sub-base	12,8 %	
CBR subleito	5,0 %	
método de dimensionamento	DNIT	
N	$5,13 * 10^6$	
Vida útil de projeto	10 anos	
Espessura Revestimento	5 cm	CAUQ
Espessura Base	15 cm	Brita Graduada
Espessura Sub-base e reforço	25 cm	Rachão

Fonte: O autor - 2014

Convém salientar que no projeto de pavimentação o CBR do subleito foi adotado como sendo de 12,8%, sendo que se trata de sub-base constituída de rachão, com CBR bastante superior a este valor, sendo este um equívoco do projeto que compromete o dimensionamento do pavimento.

4. RESULTADOS

Os resultados deste trabalho foram obtidos por meio da análise da situação atual das ruas estudadas, levando-se em conta o tempo decorrido desde a entrega ao tráfego das mesmas, passando-se à análise dos defeitos percebidos com base nas terminologias adotadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT). Com isso foi possível determinar se os projetos atenderam, até a presente data, à vida útil de projeto adotada. Após isso os projetos foram redimensionados pelo método do DNIT, concluindo-se assim se o dimensionamento do pavimento está adequado aos dados apresentados.

4.1. RUA JACOB INEICHEN

4.1.1. Situação atual

Esta rua foi entregue ao tráfego em Novembro de 2013, tendo se passado apenas seis meses entre o início da utilização do pavimento e a avaliação da sua situação. O período de vida útil de projeto adotado para esta rua é de 10 anos, sendo este bastante superior ao período de solicitação do pavimento. Apesar disto, pode-se perceber que, até a presente data, esta rua apresenta ótimas condições de trafegabilidade, não sendo percebido qualquer defeito que pudesse comprometer o seu desempenho. A situação atual da Rua Jacob Ineichen pode ser analisada por meio das Figuras 17, 18, 19, 20 e 21.

Figura 17– Foto da Rua Jacob Ineichen.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Figura 18– Foto da Rua Jacob Ineichen.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Figura 19– Foto da Rua Jacob Ineichen.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Figura 20– Foto da Rua Jacob Ineichen.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Figura 21 – Foto da Rua Jacob Ineichen.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

A partir da análise das fotos da Rua Jacob Ineichen podemos perceber que a mesma não apresenta defeitos estruturais até o momento, apenas trilhas de roda com aparência de exsudação do ligante asfáltico devidas a erros de dosagem da mistura asfáltica.

4.1.2. Redimensionamento pelo método do DNIT

Por meio do redimensionamento do pavimento com o método do DNIT, usando-se os dados fornecidos pelo projeto de pavimentação da prefeitura municipal de Blumenau foram obtidos os seguintes resultados:

- Espessura do revestimento (R) ≥ 5 cm.
- Coeficientes de equivalência estrutural do revestimento (K_R) = 2,00.
- Coeficientes de equivalência estrutural da base (K_B) = 1,00.
- Coeficientes de equivalência estrutural da camada de sub-base (K_S) = 1,00.

- Coeficientes de equivalência estrutural do reforço de subleito (K_{ref}) = 1,00.
- Espessura da base (B) $\geq 15\text{ cm}$

Como não foi informado o CBR do macadame de segunda categoria não temos como definir a espessura das camadas de reforço do subleito (h_{20}) e de sub-base (h_n), apenas a soma das duas:

$$h_{20} + h_n \geq 31\text{ cm}$$

Portanto, para os dados informados, temos o dimensionamento correto do pavimento pelo método do DNIT.

Cabe avaliar o CBR do macadame de segunda categoria para confirmar o correto dimensionamento do pavimento.

Com isto, pode-se perceber o correto dimensionamento do pavimento da Rua Jacob Ineichen pelo método do DNIT e o bom desempenho do pavimento dimensionado, sendo que este não apresenta qualquer tipo de defeito até a data em que foi avaliado.

4.2. RUA ARNOLDO BECK

4.2.1. Situação atual

Esta rua foi entregue ao tráfego em Outubro de 2013, tendo se passado apenas sete meses entre o início da utilização do pavimento e a avaliação da sua situação. O período de vida útil de projeto adotado para esta rua é de 10 anos, sendo este bastante superior ao período de solicitação do pavimento. Apesar disto, pode-se perceber que, até a presente data, esta rua apresenta ótimas condições de trafegabilidade, não sendo percebido qualquer defeito que pudesse comprometer o seu desempenho. A situação atual da Rua Arnaldo Beck pode ser analisada por meio das figuras 22, 23, 24 e 25.

Figura 22– Foto da Rua Arnoldo Beck.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Figura 23– Foto da Rua Arnoldo Beck.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Figura 24– Foto da Rua Arnoldo Beck.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Figura 25– Foto da Rua Arnoldo Beck.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

A partir da análise das fotos da rua Arnoldo Beck podemos perceber que a mesma não apresenta defeitos estruturais até o momento, apresentando boas condições de trafegabilidade.

4.2.2. Redimensionamento pelo método do DNIT

Por meio do redimensionamento do pavimento com o método do DNIT, usando-se os dados fornecidos pelo projeto de pavimentação da prefeitura municipal de Blumenau foram obtidos os seguintes resultados:

- Espessura do revestimento (R) ≥ 5 cm.
- Coeficientes de equivalência estrutural do revestimento (K_R) = 2,00.
- Coeficientes de equivalência estrutural da base (K_B) = 1,00.
- Coeficientes de equivalência estrutural da camada de sub-base (K_S) = 1,00.
- Coeficientes de equivalência estrutural do reforço de subleito (K_{ref}) = 1,00.
- Espessura da base (B) ≥ 15 cm

Como não foi informado o CBR do macadame de jazida não temos como definir a espessura das camadas de reforço do subleito (h_{20}) e de sub-base (h_n), apenas a soma das duas:

$$h_{20} + h_n \geq 33 \text{ cm}$$

Portanto, para os dados informados, tem-se o dimensionamento correto do pavimento pelo método do DNIT.

Cabe avaliar o CBR do macadame de jazida para confirmar o correto dimensionamento do pavimento.

Com isto, pode-se perceber o correto dimensionamento do pavimento da Rua Arnoldo Beck pelo método do DNIT e o bom desempenho do pavimento dimensionado, sendo que este não apresenta qualquer tipo de defeito até a data em que foi avaliado.

4.3. RUA GUILHERME SCHARF

4.3.1. Situação atual

Esta rua foi entregue ao tráfego em Maio de 2008, tendo se passado seis anos entre o início da utilização do pavimento e a avaliação da sua situação, sendo que o mesmo foi projetado para uma vida útil de projeto de dez anos. Percebe-se pela avaliação da situação atual desta rua que a mesma já está bastante deteriorada, apresentando níveis de serviço abaixo do esperado para a sua vida útil. A situação atual da Rua Guilherme Scharf pode ser analisada por meio das figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32.

Figura 26– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Percebe-se pela Figura 26 que o trecho mostrado apresenta afundamentos na parada de ônibus, levando à acumulação de água e solo no local, além de panelas e trincas de fadiga

Figura 27– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Na Figura 27 pode-se ver a ocorrência de trilha de roda na faixa da direita e um remendo mal executado na faixa da esquerda, além de trincas longitudinais e desgaste.

Figura 28– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

No trecho apresentado na Figura 28 pode-se ver um remendo mal executado e desgaste do pavimento.

Figura 29– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Na Figura 29 podem-se observar vários defeitos, dentre eles afundamentos junto à margem da via, desgaste do pavimento e um remendo mal executado junto à margem direita.

Figura 30– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Na Figura 30 podemos perceber a ocorrência de desgaste do pavimento junto ao eixo da via e um remendo mal executado após a placa de sinalização da velocidade máxima permitida.

Figura 31– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Na Figura 31 não há nenhum grande defeito visível, apenas um principio de desgaste do pavimento e um remendo mal executado.

Figura 32– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Na Figura 32 o pavimento não apresenta defeitos.

Figura 33– Foto da Rua Guilherme Scharf.



Fonte: O Autor – Maio de 2014

Na Figura 33 o pavimento não apresenta muitos defeitos, apenas um principio de desgaste.

4.3.2. Redimensionamento pelo método do DNIT

Por meio do redimensionamento do pavimento com o método do DNIT, usando-se os dados fornecidos pelo projeto de pavimentação da prefeitura municipal de Blumenau foram obtidos os seguintes resultados:

- Espessura da camada de revestimento (R) $\geq 7,5$ cm.
- Coeficientes de equivalência estrutural do revestimento (K_R) = 2,00.
- Coeficientes de equivalência estrutural da base (K_B) = 1,00.
- Coeficientes de equivalência estrutural da camada de sub-base (K_S) = 1,00.
- Espessura da base de brita graduada (B) ≥ 15 cm
- Espessura da sub-base de rachão (h_S) ≥ 34 cm

Nesta rua, o dimensionamento feito pela prefeitura de Blumenau apresenta-se em desconformidade com o método do DNIT. Os dados encontrados mostram que o dimensionamento foi realizado pela metodologia do DNIT. Além disto, a análise da situação atual da rua demonstra que a mesma não obteve sucesso em relação à vida útil de projeto proposta, sendo que a mesma atingiu níveis de serviço inaceitáveis muito antes do fim dos 10 anos de vida útil projetados. Com isso é possível relacionar o mau desempenho do pavimento executado na Rua Guilherme Scharf com a falta de adequação do projeto de pavimentação a uma metodologia de dimensionamento.

Nesta rua tanto a espessura do revestimento de concreto asfáltico quanto a espessura da sub-base de rachão estão dimensionadas com valores inferiores ao que foi obtido pelo método do DNIT, resultando em um pavimento com vida útil inferior ao valor da vida útil de projeto.

4.4. PROPOSIÇÃO DE UM MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE BLUMENAU

Por meio dos estudos de caso das três ruas analisadas no trabalho pode-se perceber uma forte correlação entre a adoção e correto dimensionamento dos pavimentos pela metodologia do DNIT e o bom desempenho dos mesmos, sendo que nos casos das Ruas Jacob Ineichen e Arnoldo Beck, onde foi realizado o dimensionamento correto do pavimento, não foram detectados defeitos até a presente data e no caso da Rua Guilherme Scharf, onde houve falhas no dimensionamento do pavimento, foram detectados vários defeitos, sendo estes de vários tipos diferentes.

A partir da interpretação destes resultados percebe-se que é adequada a proposição de um manual de pavimentação para o município de Blumenau, sendo que o manual do Departamento nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) apresentou bons resultados quando de fato utilizado. Isto demonstra que esta metodologia pode ser adotada pelo município para o dimensionamento de pavimentos de ruas de leve e médio volume de tráfego.

Além da adoção de um manual de pavimentação faz-se necessária a qualificação e o treinamento dos profissionais responsáveis pelo dimensionamento dos pavimentos do município ou, no caso da terceirização do serviço de dimensionamento dos pavimentos para empresas, dos funcionários responsáveis pelo controle dos projetos recebidos pelo município, pois os projetos de pavimentação das ruas analisadas apresentaram inconsistências.

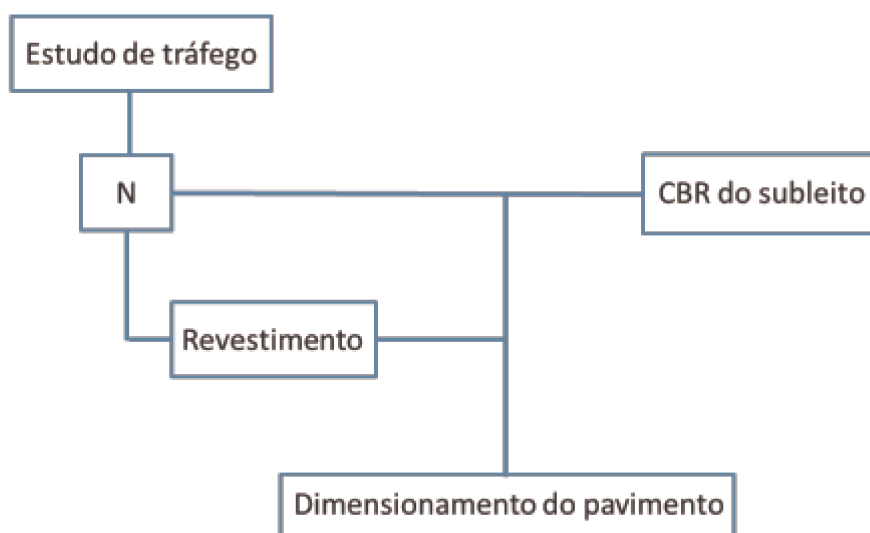
Como exemplo de inconsistências, nos casos dos projetos de pavimentação das ruas Arnaldo Beck e Guilherme Scharf foram apresentados valores de CBR da sub-base de 12,5% e 12,8%, respectivamente, sendo esta composta de rachão, que possui valor de CBR muito superior a estes.

Além disto, no caso da Rua Guilherme Scharf, apesar do entendimento que o pavimento da rua foi dimensionado pelo método do DNIT, os dados de entrada do dimensionamento são incompatíveis com os resultados obtidos, evidenciando que houve erros na aplicação desta metodologia.

Desta forma, uma das propostas deste trabalho corrobora com a adoção, pelo município de Blumenau, do uso do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT.

Para tanto, propõem-se que o dimensionamento dos pavimentos siga o fluxograma apresentado na Figura 34.

Figura 34 - Fluxograma de dimensionamento de pavimentos flexíveis para Blumenau



Para o dimensionamento dos pavimentos do município de Blumenau pela metodologia do DNIT convêm utilizar o Quadro 20 presente no anexo juntamente com os outros quadros e ábacos presentes na revisão bibliográfica para a obtenção das espessuras das camadas do pavimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÃO

Como propostos para este trabalho, foram realizados estudos de caso em três ruas pavimentadas no município de Blumenau, analisando a situação atual das mesmas e realizando o redimensionamento pelo método do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Com isso foi possível determinar se os projetos realizados pela prefeitura de Blumenau estão conformes ao método e se os pavimentos estão satisfazendo à vida útil de projeto adotada.

Os resultados obtidos buscavam determinar se é apropriada a criação de um manual de pavimentação para o município de Blumenau e caso fosse confirmada esta hipótese propor um método adequado.

Para a amostra analisada foi possível perceber que quando o método do DNIT é utilizado de forma correta as vias são dimensionadas de forma a manterem-se conservadas durante a sua vida útil, sendo que quando as ruas são dimensionadas sem o uso de um método apropriado ou o método é usado de forma errada as vias dimensionadas passam a apresentar desgastes muito antes do fim da sua vida útil de projeto.

Esse foi o caso visto na Rua Guilherme Scharf, que apresenta vários defeitos passados apenas 6 anos da sua liberação ao tráfego, apesar de a mesma ter sido dimensionada com vida útil de projeto de 10 anos. Nas Ruas Jacob Ineichen e Arnoldo Beck, que foram dimensionadas adequadamente segundo o método do DNIT, não foram evidenciados defeitos estruturais na superfície do pavimento.

Outra constatação importante do trabalho é que não basta apenas adotar uma metodologia para o município, sendo necessário também capacitar os profissionais responsáveis por fazer uso do método, pois nos projetos de pavimentação analisados ocorreram vários erros e inconsistências, sendo que os mesmos afirmavam terem sido dimensionados com o uso do método do DNIT. Esse é o caso das Ruas Arnoldo Beck e Guilherme Scharf, que apresentaram como dados de entrada do método valores de Índice de Suporte Califórnia (CBR) da sub-base de 12,5% e 12,8%, respectivamente, sendo esta composta de rachão, que possui valor de CBR

bastante superior a estes. No caso da Rua Guilherme Scharf também ocorreram erros de aplicação do método, sendo que para um número de operações de eixo padrão (N) de $5,13 \times 10^6$ o projeto do município utilizou uma espessura do revestimento de concreto asfáltico de 5,0 cm, sendo que o valor que se adequaria ao método é de 7,5 cm. O mesmo problema ocorreu para a camada de sub-base, que foi dimensionada com espessura menor que o necessário para estar conforme ao método.

Com isso, como conclusão do trabalho, foi definido que é adequado que o município adote o método do DNIT e busque a capacitação dos seus profissionais para que os mesmos façam uso correto do método. É adequado também que o município faça uma abordagem mais didática do método, com o uso de planilhas de cálculo e fluxogramas de dimensionamento para facilitar a adaptação ao método.

A adoção do método do DNIT também é adequada para o controle por parte do município dos projetos de pavimentação terceirizados, sendo que esta é uma tendência atual no município de Blumenau.

Como ressalva da adoção deste método deve-se limitar a utilização do método do DNIT para o dimensionamento de pavimentos de vias de alto volume de tráfego, sendo que este não apresenta resultados satisfatórios nestes casos.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os resultados obtidos no presente trabalho e a grande importância do aprimoramento dos projetos de pavimentação torna-se recomendável o aprofundamento do tema em trabalhos futuros, buscando alcançar um melhor desempenho para os projetos de pavimentação de vias de Blumenau.

Neste contexto, recomenda-se o desenvolvimento de uma metodologia com foco específico ao município de Blumenau, levando em conta estudos de tráfego específicos das vias a serem pavimentadas.

Também percebeu-se a falta de dados geotécnicos mais fiáveis para o dimensionamento. Assim o município deve criar um banco de dados, ou seja, realizar um levantamento de unidades geotécnicas da região, possibilitando o dimensionamento dos pavimentos por meio do conhecimento dos solos em que serão implantados, utilizando estratégias de pavimentação adequadas ao local em questão.

Outra sugestão é desenvolver alternativas de pavimentação em função do regime pluviométrico, por meio do estudo de séries históricas de precipitação, fazendo com que os pavimentos estejam preparados para receber grandes volumes de chuva. Esta é uma necessidade que pode ser percebida em função do grande número de ruas danificadas nas enchentes recentes.

Os trabalhos futuros também devem atender à forte demanda atual pelo desenvolvimento de metodologias empírico-mecanicistas, desenvolvendo uma metodologia mais precisa e adequada à heterogeneidade dos subleitos.

REFERÊNCIAS

_____. **Manual de pavimentação DNIT**. 3. Ed. – Rio de Janeiro, 2006b.

PMSP - Prefeitura do Município de São Paulo, IP-04 – Dimensionamento de pavimentos Flexíveis para tráfego Leve e Médio, SIURB – Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras (2004).

PMSP - Prefeitura do Município de São Paulo, IP-04 – Dimensionamento de pavimentos Flexíveis para tráfego Pesado, meio pesado e faixa exclusiva de ônibus, SIURB – Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras (2004).

_____. **Norma DNIT 005/2003 – TER Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

Confederação Nacional dos Transportes – CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2013: relatório gerencial**. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2013.

GONÇALVES, F. J. P. O desempenho dos pavimentos flexíveis. 1999. Disponível em <<http://usuarios.upf.br/~pugliero/arquivos/09.pdf>>.

Projeto de Pavimentação Asfáltica – Rua Jacob Ineichen. Blumenau, Abril / 2011.

Projeto de Pavimentação Asfáltica – Rua Arnaldo Beck. Blumenau, Agosto / 2011.

Projeto de Pavimentação Asfáltica – Rua Guilherme Scharf. Blumenau, Junho / 2006.

ANEXO

RUA JACOB INEICHEN:

- Analise Granulométrica
- Ensaios de Compactação
- Limites de Liquidez e Plasticidade
- Dimensionamento das camadas do pavimento

Quadro 9- Analise Granulométrica

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU				DATA 1º/2/2006		
OBRA: RUA JACOB INEICHEM - BLUMENAU/SC						
FURO: 01		TRECHO:		AMOSTRA:		
LADO: ESQUERDO EIXO		CAMADA: DE 30 A 120 cm				
ANALISE GRANULOMETRICA						
Determinação da Umidade			Amostra Total Seca			
Cápsula nº	73	Amostra Total Úmida (g)		998		
Peso da Cápsula + Solo Úmido (g)	95,5	Pedregulho (g)		190		
Peso da Cápsula + Solo Seco (g)	88,07	Passando na Nº 10 Úmida (g)		808		
Peso da Cápsula (g)	17,03	Passando na Nº 10 Seca (g)		731,49		
Peso da Água (g)	7,43	Amostra Total Seca (g)		921,49		
Peso do Solo Seco (g)	71,04					
Umidade (%)	10,5					
Fator de Correção	-					
Peneiração Da Amostra Total						
Peneiras		Material Retido			% Que Passa da	
A.S.T.M.	mm	Peso (g)	% da Amostra Total	% Acumulada	Amostra Total	
2"	50,8	0	0,0	0,0	100,0	
3/4"	19,1	58	6,3	6,3	93,7	
3/8"	9,5	68	7,4	13,7	86,3	
Nº 4	4,8	34	3,7	17,4	82,6	
Nº 10	2,0	30	3,3	20,6	79,4	
Peneiração Da Amostra Parcial						
Amostra Parcial Úmida:		110,01		Amostra Parcial Seca: 99,65		
Peneiras		Material Retido			% Que Passa da	% Que Passa da
A.S.T.M.	mm	Peso (g)	% da Amostra Parcial	% Acumulada	Amostra Parcial	Amostra Total
Nº 40	0,42	19,33	19,40	19,40	80,60	63,98
Nº 80	0,18	-	-	-	-	-
Nº 200	0,0074	23,44	23,52	42,92	57,08	45,31
Resumo						
Pedregulho (%)			17,4			
Areia Grossa (%)			18,7			
Areia Fina (%)			18,7			
Pasando na Nº 200 (%)			45,3			
Total (%)			100,0			

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2011

Quadro 10 - Ensaios de Compactação

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU								
OBRA: RUA JACOB INEICHEM - BLUMENAU/SC								
FURO:	01	TRECHO:		DATA 30/1/2008				
LADO: ESQUERDO 030		CAMADA: DE 30 A 120 cm		AMOSTRA:				
PROCTOR								
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO						C.P. do I.S.C.		
Cilindro nº	2	2	2	2		8		
Água Acrescentada (g)	240	80	80	80		736		
Peso do Cilindro (g)	2236	2236	2236	2236		4800		
Volume do cilindro (cm³)	886	886	886	886		2087		
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	3846	4037	4133	4120		8790		
Peso do Solo úmido (g)	1710	1802	1898	1885		3990		
Densidade Solo Úmido (g/cm³)	1738	1829	1927	1914		1912		
Cápsula nº	28	38	43	2		10		
Peso Cápsula + Solo úmido (g)	142,87	144,63	142,41	168,5		146,82		
Peso Cápsula + Solo seco (g)	124,32	122,87	118,88	130,36		122,68		
Peso Cápsula (g)	28,64	28,72	28,86	31,68		27,08		
Peso da Água (g)	18,66	21,68	23,66	28,16		22,96		
Peso do Solo Seco (g)	97,78	98,35	92,21	90,79		95,68		
Umidade (%)	19,1	22,4	25,6	28,6		24,0		
Umidade Adotada (%)	19,1	22,4	25,6	28,6		24,0		
Densidade Solo Seco (g/cm³)	1453	1495	1535	1489		1542		

Curvas De Compactação, I. S. C. E Expansão

Porcentagem de Umidade - %	Densidade Aparente Seca - g/cm³
19,1	1453
22,4	1495
25,6	1538
28,6	1489

Resumo						
Energia de Compactação	Modificado		D. Max.	1538 (g/cm³)	Expansão (%) =	1,14
	Intermediário					
	Normal	X	hot	25,6 (%)	I.S.C Final (%) =	8

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2011

Quadro 11 - Limites de Liquidez e Plasticidade

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU						DATA: 2/2/2008	
OBRA: RUA JACOB INEICHEM - BLUMENAU/SC							
FURO: 01		TRECHO:		AMOSTRA:			
LADO: ESQUERDO EIXO		CAMADA: DE 30 A 120 cm					

LIMITES DE ATTERBERG							
Límite de Liquidez							
Capota (nº)	60	7	63	8			
C+8+A (g)	21,88	30,82	28,78	28,83			
C+8 (g)	18,87	28,16	22,14	22,41			
Água (g)	3,21	4,47	4,69	4,42			
Capota (g)	8,6	12,74	8,78	10,02			
Solo (g)	10,17	13,41	13,36	12,39			
Umidade (%)	31,6	33,3	34,4	36,7			
Golpes	38	28	20	18			

LL = 33,7

Índice de Plasticidade	
Límite de Liquidez	33,7
Límite de Plasticidade	21,6
Índice de Plasticidade	12,2

Límite de Plasticidade					
Capota (nº)	46	13	26	31	
C+8+A (g)	13,07	11,18	12,88	13,48	
C+8 (g)	12,21	10,38	12,22	12,78	
Água (g)	0,66	0,79	0,71	0,67	
Capota (g)	8,18	6,8	8,82	8,81	
Solo (g)	4,06	3,60	3,3	3,18	
Umidade (%)	21,2	22,0	21,6	21,1	
Límite de Plasticidade	21,6				

Observações:

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2011

Quadro 12 - Dimensionamento das camadas do pavimento

DIMENSIONAMENTO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO - MÉTODO DO DNER				
MÉTODO DE PROJETO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - Engº Murilo Lopes de Souza				
ESPESSURAS CALCULADAS:				
Conformação:	Material de jazida - material de 2ª categoria - Macadame	ESP:	15	cm
Sub base:	Material Britado - Rachão	ESP:	20	cm
Base:	Material Britado - Base	ESP:	15	cm
Revestimento:	CBUQ - (R)	ESP:	5	cm
CÁLCULO DO NÚMERO DE VEÍCULOS:				
DADOS:	TX crescimento:	5	%a.a.	
	Tempo de execução:	1	ano	
	Período projeto:	10	anos	
	VT:	1.205.119	veículos	
	Fator de Eixo:	2,07		
	Fator de Carga:	1,7		
	Fator Climático Regional	1		
	N:	4,24 x10 ⁸		
			R = 5cm	
			Revestimento Betuminoso	
ENSAIOS:	Sub-leito:	ISC:	6%	
FÓRMULAS DO MÉTODO:				
1	$R \times Kr + B \times Kb \geq h_{20}$			
2	$R \times Kr + B \times Kb + h_{20} \times Ks \geq Hn$			
3	$R \times Kr + B \times Kb + h_{20} \times Ks + hn \times Kref \geq Hm$			
4	$h_{20} = B + R$			

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2011

RUA GUILHERME SCHARF

- Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 1
- Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 2
- Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 3
- Ensaio de Compactação – Furo 1
- Ensaio de Compactação – Furo 2
- Ensaio de Compactação – Furo 3
- Dimensionamento das camadas do pavimento

Quadro 13 - Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 1

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU						
OBRA: RUA GUILHERME SCHARF - BLUMENAU/SC						DATA 2/6/2006
FURO: 01	TRECHO:				AMOSTRA:	
LADO: ESQUERDO BIXO	CAMADA: DE 40 A 140 cm					

LIMITES DE ATTERBERG					
	Límite de Liquidez				
Capsula (nº)	11	30	39	107	
C+S+A (g)	16.46	16.96	20.72	25.3	
C+S (g)	13.05	13.47	16.52	19.3	
Agua (g)	3.41	3.49	4.2	6	
Capsula (g)	4.26	4.75	6.4	5.41	
Solo (g)	8.79	8.72	10.12	13.89	
Umidade (%)	38.8	40.0	41.5	43.2	
Golpes	38	30	22	15	

LL =	40.9
------	------

Índice de Plasticidade	
Límite de Liquidez	40.9
Límite de Plasticidade	27.3
Índice de Plasticidade	13.6

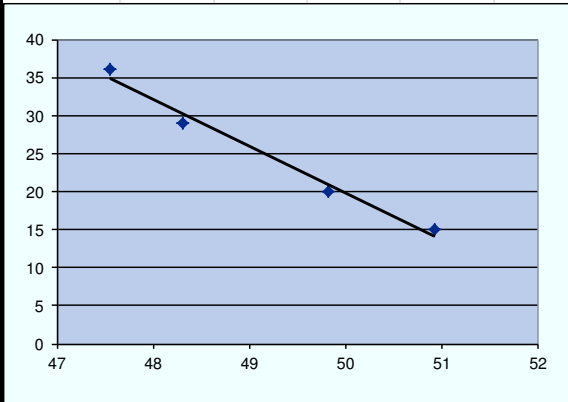
	Límite de Plasticidade			
Capsula (nº)	2	22	25	113
C+S+A (g)	7.61	7.12	7.86	8.03
C+S (g)	7	6.52	7.22	7.32
Agua (g)	0.61	0.6	0.64	0.71
Capsula (g)	4.82	4.32	4.78	4.77
Solo (g)	2.18	2.2	2.44	2.55
Umidade (%)	28.0	27.3	26.2	27.8
Límite de Plasticidade	27.3			

Observações:

RESPONSÁVEL TÉCNICO:	ENGEPONTO
SÉRGIO LUIZ HAYASHI	
ENG. CIVIL CREA-SC 35.917-9	

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2006

Quadro 14 - Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 2

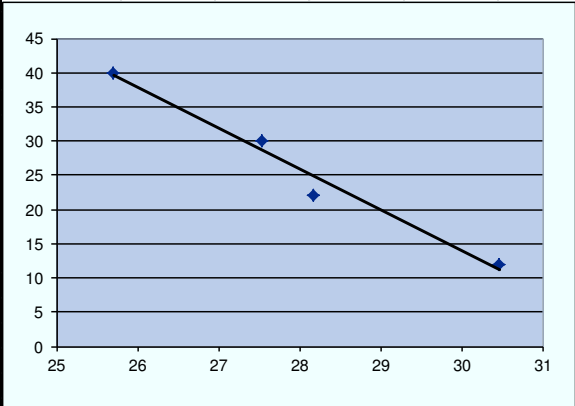
EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU						
OBRA: RUA GUILHERME SCHARF - BLUMANAU/SC					DATA 2/6/2006	
FURO: 02				TRECHO:		
LADO: ESQUERDO EXO				CAMADA: DE 40 A 140 cm		
				AMOSTRA:		
LIMITES DE ATTERBERG						
Limite de Liquidez						
Capsula (nº)	34	48	57	21		
C+S+A (g)	28.03	28.37	26.15	28.67		
C+S (g)	22	22.2	20.23	22.37		
Agua (g)	6.03	6.17	5.92	6.3		
Capsula (g)	9.32	9.43	8.35	10		
Solo (g)	12.68	12.77	11.88	12.37		
Umidade (%)	47.6	48.3	49.8	50.9		
Golpes	36	29	20	15		
<div></div>						
LL = 48.8						
Indice de Plasticidade						
Limite de Liquidez		48.8				
Limite de Plasticidade		20.1				
Indice de Plasticidade		28.7				
Limite de Plasticidade						
Capsula (nº)	0	5	13	117		
C+S+A (g)	8.82	9.02	8.18	8		
C+S (g)	8.04	8.34	7.6	7.38		
Agua (g)	0.78	0.68	0.58	0.62		
Capsula (g)	4.32	4.81	4.55	4.46		
Solo (g)	3.72	3.53	3.05	2.92		
Umidade (%)	21.0	19.3	19.0	21.2		
Limite de Plasticidade		20.1				
Observações:						
RESPONSÁVEL TÉCNICO:						
SÉRGIO LUIZ HAYASHI						
ENG. CIVIL CREA-SC 35.917-9						
ENGEPONTO						

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2006

Quadro 15 - Limites de Liquidez e Plasticidade – Furo 3

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU							
OBRA: RUA GUILHERME SCHARF - BLUMENAU/SC						DATA 2/6/2006	
FURO: 03		TRECHO:		AMOSTRA:			
LADO: ESQUERDO EIXO		CAMADA: DE 40 A 140 cm					

LIMITES DE ATTERBERG							
Limite de Liquidez							
Capsula (nº)	9	15	33	40			
C+S+A (g)	17.82	22.16	22.91	24.88			
C+S (g)	15.1	18.33	18.74	20.1			
Agua (g)	2.72	3.83	4.17	4.78			
Capsula (g)	4.52	4.42	3.94	4.41			
Solo (g)	10.58	13.91	14.8	15.69			
Umidade (%)	25.7	27.5	28.2	30.5			
Golpes	40	30	22	12			



LL = 27.4

Índice de Plasticidade	
Limite de Liquidez	27.4
Limite de Plasticidade	14.8
Índice de Plasticidade	12.6

Limite de Plasticidade							
Capsula (nº)	7	18	24	73			
C+S+A (g)	8.36	8.41	8.3	8.4			
C+S (g)	7.94	7.9	7.87	7.88			
Agua (g)	0.42	0.51	0.43	0.52			
Capsula (g)	4.92	4.46	5	4.53			
Solo (g)	3.02	3.44	2.87	3.35			
Umidade (%)	13.9	14.8	15.0	15.5			
Limite de Plasticidade	14.8						

Observações:							

RESPONSÁVEL TÉCNICO:							
SÉRGIO LUIZ HAYASHI							
ENG. CIVIL CREA-SC 35.917-9							

ENGE P O N T O

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2006

Quadro 16 - Ensaios de Compactação – Furo 1

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU								
OBRA: RUA GUILHERME SCHARF - BLUMENAU/SC						DATA 2/6/2006		
FURO: 01				TRECHO:		AMOSTRA:		
LADO: ESQUERDO EXO				CAMADA: DE 40 A 140 cm				
PROCTOR								
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO								C.P. do I.S.C.
Cilindro nº	2	2	2	2			19	
Água Acrescentada (g)	240	90	90	90			992	
Peso do Cilindro (g)	2235	2235	2235	2235			4765	
Volume do cilindro (cm³)	985	985	985	985			2081	
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	3984	4082	4173	4146			8810	
Peso do Solo úmido (g)	1749	1847	1938	1911			4045	
Densidade Solo Úmido (g/cm³)	1776	1875	1968	1940			1944	
Cápsula nº	19	15	56	24			8	
Peso Cápsula + Solo úmido (g)	130.27	134.55	142.62	146.18			144.1	
Peso Cápsula + Solo seco (g)	117.38	117.29	121.65	122.93			124.36	
Peso Cápsula (g)	21.67	16.16	21.08	26.82			26.8	
Peso da Água (g)	12.89	17.26	20.97	23.25			19.74	
Peso do Solo Seco (g)	95.71	101.13	100.57	96.11			97.56	
Umidade (%)	13.5	17.1	20.9	24.2			20.2	
Umidade Adotada (%)	13.5	17.1	20.9	24.2			20.2	
Densidade Solo Seco (g/cm³)	1565	1602	1628	1562			1617	

Curvas De Compactação, I. S. C. E Expansão

Porcentagem de Umidade (%)	Densidade Aparente Seca (g/cm³)
13.5	1565
17.1	1602
20.9	1628
24.2	1562

Resumo							
Energia de Compactação	Modificado		D. Max	1629	(g/cm³)	Expansão (%) =	1.94
	Intermediário						
	Normal	X	hot	20.4	(%)	ISC Final (%) =	3.2

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
SÉRGIO LUIZ HAYASHI
ENG. CIVIL CREA-SC 35.917-9

ENGEPONTO

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2006

Quadro 17 - Ensaios de Compactação – Furo 2

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU							
OBRA: RUA GUILHERME SCHARF - BLUMENAU/SC						DATA 2/6/2006	
FURO: 02				TRECHO:		AMOSTRA:	
LADO: ESQUERDO EIXO				CAMADA: DE 40 A 140 cm			

PROCTOR							
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO							C.P. do I.S.C
Cilindro nº	2	2	2	2			4
Água Acrescentada (g)	240	90	90	90			555
Peso do Cilindro (g)	2235	2235	2235	2235			4813
Volume do cilindro (cm³)	985	985	985	985			2088
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4000	4060	4085	4085			8686
Peso do Solo úmido (g)	1765	1825	1850	1850			3873
Densidade Solo Úmido (g/cm³)	1792	1853	1878	1878			1855
Cápsula nº	10	26	21	57			14
Peso Cápsula + Solo úmido (g)	148.88	132.64	136.33	134.67			135.71
Peso Cápsula + Solo seco (g)	134.06	116.78	117.97	112.57			118.35
Peso Cápsula (g)	27.87	18.64	24.14	18.88			19.69
Peso da Água (g)	14.82	15.86	18.36	22.1			17.36
Peso do Solo Seco (g)	106.19	98.14	93.83	93.69			98.66
Umidade (%)	14.0	16.2	19.6	23.6			17.6
Umidade Adotada (%)	14.0	16.2	19.6	23.6			17.6
Densidade Solo Seco (g/cm³)	1572	1595	1571	1520			1577

Curvas De Compactação, I. S. C. E Expansão

Densidade Aparente Seca - g/cm³

1600
1590
1580
1570
1560
1550
1540
1530
1520
1510

Porcentagem de Umidade - %

12141618202224

Resumo			
Energia de Compactação	Modificado	D. Max	1596 (g/cm³)
	Intermediário		Expansão (%) = 8.55
	Normal	X hot	17 (%)
			ISC Final (%) = 0.8

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

SÉRGIO LUIZ HAYASHI
ENG. CIVIL CREA-SC 35.917-9

ENGEPONTO

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2006

Quadro 18 - Ensaios de Compactação – Furo 3

EMPRESA: PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU						
OBRA: RUA GUILHERME SCHARF - BLUMENAU/SC				DATA 2/6/2006		
FURO: 03				TRECHO:		AMOSTRA:
LADO: ESQUERDO EIXO				CAMADA: DE 40 A 140 cm		

PROCTOR							
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO							C.P. do I.S.C.
Cilindro nº	2	2	2	2			1
Água Acrescentada (g)	210	90	90	90			570
Peso do Cilindro (g)	2235	2235	2235	2235			3261
Volume do cilindro (cm³)	985	985	985	985			2217
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4114	4220	4274	4265			7940
Peso do Solo úmido (g)	1879	1985	2039	2030			4679
Densidade Solo Úmido (g/cm³)	1908	2015	2070	2061			2111
Cápsula nº	19	15	56	24			43
Peso Cápsula + Solo úmido (g)	150.45	133.67	133.68	149.17			156.16
Peso Cápsula + Solo seco (g)	140.16	121.53	119.2	131			140.85
Peso Cápsula (g)	21.67	16.16	21.08	26.82			26.64
Peso da Água (g)	10.29	12.14	14.48	18.17			15.31
Peso do Solo Seco (g)	118.49	105.37	98.12	104.18			114.21
Umidade (%)	8.7	11.5	14.8	17.4			13.4
Umidade Adotada (%)	8.7	11.5	14.8	17.4			13.4
Densidade Solo Seco (g/cm³)	1755	1807	1804	1755			1861

Curvas De Compactação, I. S. C. E Expansão

Resumo					
Energia de Compactação	Modificado		D. Max	1814 (g/cm³)	Expansão (%) = 1.09
	Intermediário				
	Normal	X	hot	13.1 (%)	ISC Final (%) = 6.8

RESPONSÁVEL TÉCNICO:		
SÉRGIO LUIZ HAYASHI		
ENG. CIVIL CREA-SC 35.917-9		

ENGE P ONTO

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2006

Quadro 19 - Dimensionamento das camadas do pavimento

DIMENSIONAMENTO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO - MÉTODO DNER					
MÉTODO DE PROJETO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - Engº Murilo Lopes de Souza					
ESPESSURAS CALCULADAS:					
Conf./Sub base:	Sub-base de rachão			ESP:	25 cm
Base:	Materai Britado - BG			ESP:	15 cm
Revestimento:	CAUQ - (R)			ESP:	5 cm
CALCULO DO NUMERO DE VEÍCULOS:					
DADOS:	TX crescimento:	5	%a.a.		
	Tempo de execução:	1	ano		
	Período projeto:	10	anos		
	VT:	1,458,250	veiculos		
	Fator de Eixo:	2.07			
	Fator de Carga:	1.7			
	Fator Climático Regional	1			
	N:	5.13 x10⁶		R = 5cm	
				Revestimento Betuminoso	
ENSAIOS:	Sub-leito:	ISC:	5.0 %		
FORMULAS DO MÉTODO:					
1	$R \times Kr + B \times Kb \geq h_{20}$				
2	$R \times Kr + B \times Kb + h_{20} \times Ks \geq Hn$				
3	$R \times Kr + B \times Kb + h_{20} \times Ks + hn \times Kref \geq Hm$				
4	$h_{20} = B + R$				

Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (PMBLU)– 2006

Quadro 20 - Sequência de dimensionamento

MÉTODO DO DNIT			
DADOS	N=		
	CBR_{SL}=		
1) Coeficiente de Equivalencia Estrutural			
K revestimento =			
K Base =			
K sub-base =			
K reforço =			
2) Espessura Minima do Revestimento Betuminoso			
N= ,portanto R min =			
3) Espessura Total do Pavimento			
com N e CBR _{SL}	H_m =		
com N e CBR _{ref}	H_n =		
com N e CBR _{SB}	H₂₀ =		
4) Inequações			
1)	$RK_R + BK_B \geq 1,2 \times H_{20}$		
2)	$RK_R + BK_B + h_{20}K_s \geq H_n$		
3)	$RK_R + BK_B + H_{20}K_s + h_nK_{REF} \geq H_m$		
obs: a espessura das camadas granulares é de no minimo 15 cm			
B =			
h₂₀ =			
h_n =			

Fonte: O Autor – 2014.

